

Method for determining the spatial position of an object and a workpiece for automatically mounting the workpiece on the object

Patent number: EP1345099
Publication date: 2003-09-17
Inventor: SCHNELL MICHAEL PROF (DE); NEDDERMEYER WERNER PROF DR (DE); MIKESKA HARALD MANFRED GUENTER (DE); GRUENEWALD FRANK DR-ING (DE)
Applicant: TECMEDIC GMBH (DE); VMT BILDVERARBEITUNGSSYSTEME G (DE)
Classification:
- **International:** **B25J9/16; G05B19/401; B25J9/16; G05B19/401;** (IPC1-7): G05B19/401; B25J9/16
- **European:** B25J9/16T5; G05B19/401C
Application number: EP20020017503 20020806
Priority number(s): DE20021009220 20020304; DE20021031530 20020712

Report a data error here

Abstract of EP1345099

A robot (7) and clamp arm (7') holds the workpiece (6) over the object (1) and cameras (3,3',3'') establish the coordinates of reference object and workpiece and compares these to those of workpieces delivered from a store (9) to accurately apply them.

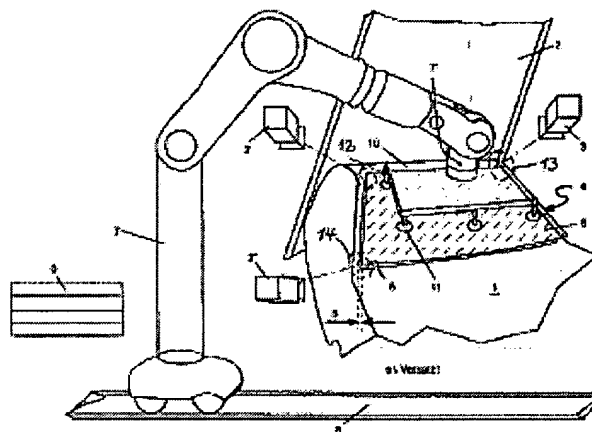


Fig. 1

Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide

Best Available Copy

(19)



Europäisches Patentamt

European Patent Office

Office européen des brevets



(11)

EP 1 345 099 A2

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
17.09.2003 Patentblatt 2003/38

(51) Int Cl.⁷: G05B 19/401, B25J 9/16

(21) Anmeldenummer: 02017503.0

(22) Anmeldetag: 06.08.2002

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR
IE IT LI LU MC NL PT SE SK TR
Benannte Erstreckungsstaaten:
AL LT LV MK RO SI

(30) Priorität: 04.03.2002 DE 10209220
12.07.2002 DE 10231530

(71) Anmelder:
• TECMEDIC GmbH
45897 Gelsenkirchen (DE)
• VMT Bildverarbeitungssysteme GmbH
69469 Weinheim (DE)

(72) Erfinder:
• Schnell, Michael, Prof.
64625 Bensheim (DE)
• Neddermeyer, Werner, Prof. Dr.
64367 Mühlital (DE)
• Mikeska, Harald Manfred Günter
68219 Mannheim (DE)
• Grünwald, Frank, Dr.-Ing.
69488 Birkenau (DE)

(74) Vertreter: Mierswa, Klaus
Rechtsanwalt,
Friedrichstr. 171
68199 Mannheim (DE)

(54) Verfahren zur Bestimmung der Lage eines Objektes und eines Werkstücks im Raum zur automatischen Montage des Werkstücks am Objekt

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Bestimmung der Lage eines Objektes (1) und Werkstücks (6) im Raum zur Montage des Werkstücks (6) am Objekt (1) mittels eines Roboters (7) mit Greifer (7'), mit einem Bildverarbeitungssystem mit Sensoren (3,3',3"), wie Kameras, und Rechner. Roboter (7), Greifer (7') und Kameras (3,3',3") werden im Weltkoordinatensystem (W) vermessen und die Koordinaten im Bildverarbeitungssystem gespeichert. Die Lage eines ersten Objektes (1), Kalibrierobjekt, wird in einer Soll-Montageposition des Objektes (1) ebenfalls im Weltkoordinatensystem (W) vermessen und die Koordinaten im Bildverarbeitungssystem gespeichert. Ein erstes Werkstück (6), Kalibrierwerkstück, wird mittels des Greifers (7') in eine Vorhalteposition gefahren, die einen kleinen Abstand von der Soll-Montageposition zum Kalibrierobjekt besitzt und ebenfalls im Weltkoordinatensystem (W) vermessen und die Koordinaten gespeichert. Die Kameras (3,3',3") sind dergestalt im Weltkoordinatensystem (W) angeordnet und im Weltkoordinatensystem eingemessen, dass sie gleichzeitig sowohl die Soll-Montageposition des Kalibrierobjektes (1) als auch die Soll-Vorhalteposition des Kalibrierwerkstücks (6) erfassen, so dass das Bildverarbeitungssystem die Abweichung zwischen der Soll-Vorhalte- und der Soll-Montageposition berechnen kann. Nun wird ein Objekt (1) "ungenau" in eine Ist-Montageposition des Objektes (1) verbracht, die von der Soll-Montageposition des Kalibrierobjektes abweichen kann; der Greifer (7') entnimmt aus einem Lager (9) ein

Werkstück (6) "ungenau" auf und verfährt es in eine Ist-Vorhalteposition, welche von der Soll-Vorhalteposition des Kalibrierwerkstücks abweichen kann, wobei die Kameras (3,3',3") das Werkstück (6) in der Ist-Vorhalteposition und gleichzeitig das Objekt (1) in der Ist-Montageposition erfassen. Das Bildverarbeitungssystem bestimmt die angefahrenen Ist-Positionen von Werkstück (6) und Objekt (1) und errechnet die notwendige Relativbewegung zwischen Werkstück (6) und Objekt (1) sechs-dimensional und gibt dem Greifer (7') des Roboters (7) diese Koordinaten der Ist-Montageposition vor, um welche der Greifer (7') zur genauen Platzierung des Werkstücks (6) am Objekt (1) translatorisch und rotatorisch zu verfahren ist.

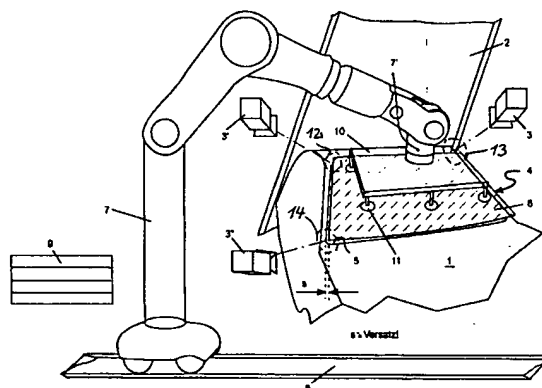


Fig. 1

Beschreibung

Technisches Gebiet:

5 **[0001]** Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Bestimmung der Lage eines Objektes und eines Werkstücks im Raum zur automatischen Montage bzw. Einfügen des Werkstücks am Objekt mittels eines Roboters mit Greifer und unter Verwendung eines digitalen Bildverarbeitungssystems mit wenigstens einer Kamera und einem Rechner gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

10 Stand der Technik:

[0002] Die schnelle und berührungslose 3D-Vermessung eines dreidimensionalen Körpers besitzt eine Schlüssel-
funktion auf dem Weg zur höheren Automatisierung und zur vollständigen Qualitätsüberwachung in vielen Fertigungs-
prozessen, wobei die SD-Positionserfassung die genaue Kenntnis der Position von Objekten im Raum und deren Lage
15 relativ zueinander liefert. Besonders in der industriellen Produktion kommt der schnellen und berührungslosen 3D-Posi-
tions- und 3D-Formerfassung eine große Bedeutung zu, so z. B. für die Maßhaltigkeitskontrolle, die Vollständigkeits-
prüfung, Robotervision in der automatischen Montage, Prüfung von Oberflächenstrukturen, Überwachung von Sicher-
heitszonen, 3D-Objekterkennung und Navigation im Raum, das Abdichten von Fugen oder Nähten, das Sealing, oder
das Einsetzen von Scheiben oder anderen Bauteilen an Karossen oder Werkstücken durch Industrieroboter. Die 3D-For-
20 merfassung liefert die absoluten Geometriemaße von Objekten, die unabhängig vom Oberflächenzustand, von der
Entfernung, Drehung und Beleuchtung sind, d. h. sie sind rotations-, verschiebungs- und beleuchtungsinvariant.

[0003] Hierzu ist die digitale Bildverarbeitung Voraussetzung und heute Stand der Technik, wobei kalibrierte Kame-
ras, was Grundvoraussetzung ist, das zu bearbeitende Objekt zu erfassen. Methoden und Verfahren der Musterer-
kennung, der klassischen Bildverarbeitung und der Photogrammetrie werden mit dem Ziel eingesetzt, die Positionen
25 bestimmter Objekte und deren Lage zueinander zu erfassen. Aus den sich ergebenden Pixeldaten bestimmter Objekt-
merkmale wird hiernach die 3-D-Werkstückpose in einem definierten Koordinatensystem berechnet.

[0004] Durch die DE 100 16 963 A1 ist ein Verfahren zur Bestimmung der Position eines Werkstücks und der Position
von Merkmalen des Werkstücks im 3D-Raum unter Verwendung von mindestens zwei elektronischen Kameras und
digitaler Bildverarbeitung bekannt geworden, wobei die Kameras auf ein gemeinsames Weltkoordinatensystem kali-
briert werden und anschließend das Werkstück in den Raum zwischen den Kameras verbracht wird. Zur Erstellung
30 des gemeinsamen Weltkoordinatensystems werden die Kameras einzeln als Lochkameramodelle behandelt, und es
erfolgt eine direkte Vermessung der Position und der Orientierung der Lichteintrittsöffnung einer jeden Kamera, indem
die Position und die Orientierung der Lichteintrittsöffnung einer jeden Kamera in ihrem passiven Zustand mit einem
separaten Meßsystem vermessen wird, welches zur direkten Antastung der Lichteintrittsöffnung imstande ist und wel-
ches die Position und die Orientierung der Lichteintrittsöffnung im Weltkoordinatensystem liefert und das in den Raum
35 zwischen den Kameras verbrachte Werkstück durch die nunmehr aktiven Kameras optisch abgebildet und die Video-
bilder mit einem Rechner zum Auffinden von Merkmalen des Werkstücks ausgewertet werden. Aus der Kenntnis der
Position der Kameras bezüglich des Weltkoordinatensystems, der Videobilder und der Koordinaten der Merkmale des
Werkstücks in einem Koordinatensystem des Werkstücks durch einen Rechner nach der Methode des Bündelaus-
gleichs die Position des Werkstücks in Weltkoordinaten sowie die Position der Merkmale des Werkstücks in Weltko-
40 ordinaten errechnet werden.

[0005] Der Einsatz von Robotern ist in der Regel daran gebunden, daß die Position des zu handhabenden Objektes
in engen Grenzen definiert ist. In vielen Produktionsprozessen kann dies entweder nicht sichergestellt werden oder
muß durch eine aufwendige, teure und gleichzeitig inflexible Positioniereinheit erreicht werden. Letzteres steht dem
45 Wunsch nach flexiblen Produktionsstraßen entgegen. So werden z. B. Automobilkarossen in bestimmten Abschnitten
der Produktion hängend an einem Transportsystem bewegt, das eine Karosse lediglich mit einer Genauigkeit von +/-
30 mm positionieren kann. Eine Bearbeitung durch einen Roboter wird damit unmöglich, wenn für den Arbeitsvorgang
selbst eine höhere Genauigkeit gefordert wird.

[0006] Wenn ein Werkstück zu einem Objekt hinzugefügt oder in das Objekt eingebaut werden soll, so kommt es zu
50 sogenannten Fügefehlern, weil sowohl das Objekt als auch das zu fügende Werkstück ungenau positioniert sind. Auf-
grund dieser ungenauen Positionierung der Werkstückes und des Objektes, in welches das Werkstück mittels eines
Roboters eingefügt werden soll, sowie der Toleranz des Roboters kommt es zu erheblichen Fügefehlern, die sich aus
der Summe dieser Einzelfehler berechnen. Denn die Position des Roboters bzw. des Roboterarmes kann entweder
über die Zeit oder durch Versehen verändert worden sein oder das Werkstück wird nicht in genau der gleichen Position
55 vom Roboterarm zum Verbau aufgenommen.

[0007] Bisherige Lösungen gehen des Weiteren von der vereinfachenden Annahme aus, daß das Werkstück posi-
tionsgenau von Roboter gegriffen wird und vom Greifort bis zur Verbauposition außerdem keine weiteren Fehler mehr
auftreten, wie sie zum Beispiel durch Sauggreifer, Roboterfehler und Objekttoleranzen bedingt sind. Es wird dann

lediglich die Raumlage des Objektes, in welches das Werkstück einzufügen ist, bestimmt. In der Praxis ist dies jedoch nicht erreichbar, zudem das Objekt neben Positionsfehlern selbst in sich Fehler birgt, zum Beispiel Rohbautoleranzen, was eben zu den genannten Fügefehlern führt.

[0008] Als weiterer Stand der Technik hierzu ist noch R. Gerdies, R. Otterbach, R. Kammüller: Kalibrierung eines digitalen Bildverarbeitungssystems mit CCD-Kamera- Teil I und Teil II, in: tm Technisches Messen 60, 1993, 6, S. 255-261 (Teil I) und 60, 1993, 7/8, S. 283-288 (Teil II) zu nennen.

Technische Aufgabe:

[0009] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur Bestimmung der Lage eines Objektes und eines Werkstücks im Raum zur automatischen Montage des Werkstücks am Objekt zu schaffen, mittels welchem ein ungenau positioniertes Werkstück mit einem Roboter gegriffen und positionsgenau in ein ebenfalls ungenau positioniertes Objekt eingefügt werden soll.

Offenbarung der Erfindung sowie deren Vorteile:

[0010] Diese Aufgabe wird durch ein Verfahren zur Bestimmung der Lage eines Objektes und eines Werkstücks im Raum zur automatischen Montage des Werkstücks am Objekt mittels eines Roboters mit Greifer und unter Verwendung eines digitalen Bildverarbeitungssystems mit wenigstens zwei Sensoren, wie optische Sensoren, insbesondere Kameras, wie CCD-Kameras, und einem Rechner gelöst, bei welchem der Roboter mit Greifer und die Sensoren des Bildverarbeitungssystems in ihrer Lage im Weltkoordinatensystem W vermessen und diese Koordinaten dem Bildverarbeitungssystem eingegeben und gespeichert werden,

die Lage eines ersten Objektes, Kalibrierobjekt, wird in einer Soll-Montageposition des Objektes ebenfalls im Weltkoordinatensystem W vermessen und die Koordinaten der Soll-Montageposition ebenfalls im Bildverarbeitungssystem gespeichert, ein erstes Werkstück, Kalibrierwerkstück, wird mittels des Greifers des Roboters in eine Soll-Vorhalteposition gefahren, welche einen kleinen Abstand von der Soll-Montageposition zum Kalibrierobjekt besitzt und ebenfalls im Weltkoordinatensystem W vermessen und die Koordinaten der Soll-Vorhalteposition im Bildverarbeitungssystem gespeichert,

die Sensoren sind dergestalt im Weltkoordinatensystem W angeordnet und in dieser Position im Weltkoordinatensystem eingemessen, dass sie gleichzeitig sowohl die Soll-Montageposition des Kalibrierobjektes als auch die Soll-Vorhalteposition des Kalibrierwerkstücks erfassen, so dass das Bildverarbeitungssystem die Abweichung zwischen der Soll-Vorhalteposition und der Soll-Montageposition berechnen kann, anschließend wird ein nachfolgendes Objekt "ungenau" in eine Ist-Montage- bzw. Fügeposition des Objektes verbracht, welche von der Soll-Montageposition des Kalibrierobjektes abweichen kann,

der Greifer des Roboters entnimmt aus einem Lager ein nachfolgendes Werkstück "ungenau" auf und verfährt es in eine Ist-Vorhalteposition, welche von der Soll-Vorhalteposition des Kalibrierwerkstücks abweichen kann, wobei die Sensoren das Werkstück in der Ist-Vorhalteposition und gleichzeitig das Objekt in der Ist-Montageposition erfassen, nunmehr bestimmt das Bildverarbeitungssystem - in einem oder mehreren Bildern der Sensoren - die angefahrte Ist-Position des Werkstücks sowie die angefahrte Ist-Position des Objektes, und errechnet die notwendige Relativbewegung zwischen Werkstück und Objekt sechs-dimensional und gibt dem Greifer des Roboters diese Koordinaten der Ist-Montageposition vor, um welche der Greifer des Roboters zur genauen Platzierung des Werkstücks am Objekt translatorisch und rotatorisch zu verfahren ist.

[0011] In einer weiteren Ausgestaltung des Verfahrens hält der Roboter das Werkstück in der Ist-Vorhalteposition zur Durchführung des Vermessungsvorgangs kurz an. In

einer weiteren Ausgestaltung des Verfahrens wird dasselbe mit einem einzigen Sensor, wie CCD-Kamera, durchgeführt, welcher hinsichtlich der Kalibrierung und Verfahrbarkeit mehrfach positionierbar ist, so dass auch nur mit einem einzigen Sensor, zum Beispiel CCD-Kamera, verfahrensgemäß gearbeitet werden kann.

[0012] In einer weiteren Ausgestaltung des Verfahrens sind die Sensoren, wie CCD-Kameras, am Roboter selbst verteilt angeordnet. Oder die Sensoren, wie CCD-Kameras sind zum Teil am Roboter selbst und zum Teil ortsfest verteilt angeordnet.

[0013] In weiterer Ausgestaltung des Verfahrens werden am Objekt und/oder am Werkstück innerhalb der Ist-Montage oder Fügeposition bzw. der Ist-Vorhalteposition signifikante Merkmale, wie Konturen, Ecken, Aussparungen oder Bohrungen, angetastet. Dadurch ist eine genaue Erfassung von Objekten möglich, welche, wie Scheiben, transparent sind. In weiterer Ausgestaltung des Verfahrens werden die signifikanten Merkmale durch Beleuchtung kenntlich gemacht. Dabei kann als Beleuchtung Infrarotlicht oder Laserlicht oder Streifenlicht zur Anwendung gelangen. In weiterer Ausgestaltung des Verfahrens werden Laserlichtlinien verwendet.

[0014] Der hervorstechende Vorteil des erfindungsgemäßen Verfahrens besteht darin, dass die Greifposition des Roboters vermessen wird und in die Auswertung eingeht. Das ist ein großer Vorteil, da nicht immer davon ausgegangen

werden kann, dass einerseits das Werkstück innerhalb kleiner, vorgegebener Grenzen reproduzierbar aufgenommen worden ist, andererseits auch nicht davon ausgegangen werden darf, dass sich das Objekt, in oder an welches das Werkstück zu montieren ist, sich innerhalb kleiner, vorgegebener Grenzen reproduzierbar befindet. In vorteilhafter Weise werden somit durch das Verfahren in automatischer Montage ein ungenau positioniertes Werkstück mit einem Roboter, welcher ebenfalls Verfahrensfehler aufweisen kann, gegriffen und positionsgenau in ein ebenfalls ungenau positioniertes Objekt ohne Verfügefehler eingefügt.

[0015] Durch die Erfindung werden deshalb vorteilhaft die folgenden Fehler kompensiert:

- Fehler beim Greifen des Werkstückes
- Fehler in der Positionierung des Objektes
- Fehler in den Toleranzen des Werkstückes und des Objektes
- Roboterfehler, sie spielen praktisch keine Rolle mehr, weil vom Roboter nur noch ein sehr kurzer Weg gefahren werden muss, nämlich der für jeden einzelnen Fügevorgang berechnete Weg, welchen der Roboter zurücklegen muss, um das Werkstück exakt im oder am Objekt zu fügen.

[0016] Die Steuerung des Roboters gibt die Position bzw. die Koordinaten des Roboters an das Bildverarbeitungssystem weiter zur Berechnung der durch den Roboter anzufahrenden Positionen; ebenso sind die Sensoren, wie Digitalkameras, im Weltkoordinatensystem vermessen bzw. kalibriert.

Beispiele der Erfindung sind an Hand einer Zeichnung beschrieben, in der zeigen:

[0017]

Figur 1 eine perspektivische schematische Darstellung eines Roboters mit Greifer, welcher eine Scheibe zum Einbau in eine Karosse hält und

Figur 2 eine schematische Zeichnung der durchzuführenden Vermessungsschritte der am Verfahren beteiligten Komponenten.

Bevorzugte Ausführungsform der Erfindung:

[0018] Das nachfolgend beschriebene Beispiel ist der automatisierten Fahrzeugmontage entnommen. Karossen 1 werden nacheinander auf einer Transportschiene 2 in eine Montage- oder Fügeposition verfahren, wo mittels eines Roboters 7 mit einem Greifer 7' eine vom Greifer 7' getragene Scheibe 6 in eine Karossenaussparung 5 der jeweiligen Karosse 1 eingesetzt wird. Der Roboter 7 ist auf einer Fahrschiene 8 verfahrbar angeordnet und kann zwischen einem Magazin 9, aus welchem die Scheiben 6 nacheinander entnommen werden, und der Karosse 1 hin- und herfahren bzw. schwenken oder beides.

[0019] Zur Aufnahme der Scheiben 6 besitzt der Roboter 7 an seinem Greifer 7' eine Greifplatte 10, an welcher Saugnäpfe 11 zum Ergreifen und Loslassen der Scheiben 6 angeordnet sind. Nachdem der Roboter 7 aus dem Magazin 9 mittels der Greifplatte 10 eine Scheibe 6 aufgenommen hat, fährt er die Scheibe 6 in eine Vorhalteposition 4 der Scheibe 6 kurz vor der Karosse 1.

[0020] Hier nun erblicken, beispielsweise, drei optische Sensoren, wie Digitalkameras 3, 3', 3'', welche Teil eines Bildverarbeitungssystems mit einem nicht gezeigten Rechner sind, aus drei verschiedenen Richtungen drei verschiedene Vorhaltbereiche 12, 13, 14, gegeben durch die Vorhalteposition 4, wobei die Sensoren, wie Digitalkameras 3, 3', 3'' gleichzeitig sowohl einen - relativ kleinen - Bereich der Füge- bzw. Einbauposition der Karossenaussparung 5 der Karosse 1 als auch einen - ebenfalls relativ kleinen - Bereich der Vorhalteposition 4 der Scheibe 6 erfassen. Montage- oder Fügungsort und Werkstück werden somit gleichzeitig von den Sensoren, zum Beispiel Digitalkameras 3, 3', 3'', erfasst.

[0021] Die optischen Sensoren 3, 3', 3'', zum Beispiel Digitalkameras 3, 3', 3'', sind entweder ortsfest und kalibriert oder sie sind auf dem Roboter montiert und kalibriert, wobei es auch möglich ist, nur einen oder zwei Sensoren, wie Digitalkameras 3, 3', 3'', auf dem Roboter 7, die dritte ortsfest kalibriert, zu montieren. Der Roboter 7 kann die Scheibe 6 in der Vorhalteposition 4 kurzzeitig anhalten, so dass die Sensoren 3, 3', 3'', zum Beispiel Digitalkameras 3, 3', 3'', eindeutig die Koordinaten der Scheibe 6 und der Karossenaussparung 5 ermitteln können.

[0022] Nunmehr berechnet das Bildverarbeitungssystem anhand der von den drei Digitalkameras 3, 3', 3'' ermittelten Koordinaten sowie den vorher ermittelten Soll-Koordinaten der sogenannten Kalibrierkarosse und des sogenannten Kalibrierwerkstücks den Ist-Vektor, um welchen der Greifer 7' bzw. der Roboter 7 in den drei Raumkoordinaten zu verfahren ist, um den Ist-Vektor zu fahren. In der Figur 1 ist zur Veranschaulichung hierzu zweidimensional ein Versatz "s" zwischen Scheibe 6 und Karossenaussparung 5 eingezeichnet. Der Versatz "s" ist in Realität sechs-dimensional, nämlich drei Positionen und drei Orientierungen.

[0023] Figur 2 zeigt in schematischer Wiedergabe eine Zeichnung, welche die durchzuführenden Vermessungsschritte der am Verfahren beteiligten Komponenten wiedergibt. Diese Abbildung zeigt einen Transformationsgraphen, welcher die Beziehungen zwischen den einzelnen Koordinatensystemen der Anwendung beschreibt. Die Koordinatensysteme sind jeweils mit den einzelnen Komponenten, Objekten, der Anwendung verbunden.

[0024] In Figur 2 bedeutet die Abkürzung "VMT" Bildverarbeitungssystem mit den Komponenten optische Sensoren in Form von Digitalkameras 3, 3', 3" sowie Rechner, welcher nicht gezeigt ist. Die Bezeichnung "RobCon" bedeutet Roboter-Controller, also die Robotersteuerung, was heißt, dass die benötigten Daten von der jeweiligen Robotersteuerung zur Verfügung gestellt werden.

Des Weiteren gelten in Figur 2 die folgenden Benennungen:

[0025]

W	Weltkoordinatensystem, Bezugssystem für die gesamte Roboterzelle bzw. Applikation
RB	Roboter-Basiskoordinatensystem, Roboter 7
VMT	Bezugssystem Bildverarbeitungssystem
K (allg)	Karossenkoordinatensystem
K_0	Karosseriereferenzposition (Objekt-Kalibrierposition)
K_i	Position der aktuellen i-ten Karosse
G (allg)	Robotergreiferkoordinatensystem
G_0	Greifer-Einbauposition an Referenzkarosse für Referenzscheibe (Position des Greifers 7' des Roboters 7 in Soll-Vorhalteposition des Werkstücks 6)
G_1	Greifer in Vorhalteposition, konstant für alle Scheiben, relativ zu RB
G_i	Greifer in Einbauposition an der aktuellen i-ten Karosse für die aktuelle i-te Scheibe
S (allg)	Scheibenkoordinatensystem
S_0	Referenzscheibe in Einbauposition an Referenzkarosse (Werkstück-Kalibrierposition)
S_{0i}	Aktuelle i-te Scheibe in Einbauposition an aktueller i-ter Karosse
S_1	Referenzscheibe in Vorhalteposition, relativ zu G_1
S_i	Aktuelle i-te Scheibe in Vorhalteposition, relativ zu G_i
RobCon	Roboter-Controller

[0026] Ein Bildverarbeitungssystem als Sensorsystem, welches entweder auf einem Greifer 7' eines Roboters 7 oder stationär, nämlich außerhalb des Roboters 7, installiert ist, berechnet die Raumlage des Werkstücks 6 und die Raumlage des Objektes 1, in welches das Werkstück 6 gefügt werden soll. Aus diesen beiden Werten wird dann der Ist-Vektor für den Roboter 7 berechnet. Der Ist-Vektor gibt an, welchen Weg der Roboterarm 7 zurücklegen muss, um das Werkstück 6 exakt im Objekt 1 zu fügen; dabei werden auch Ungenauigkeiten des zu fügenden Werkstücks 6, wie auch des Objektes 1 größtenteils durch die dem Verfahren innewohnende Mathematik kompensiert.

[0027] Zunächst wird dem Roboter manuell über seinen Roboter-Controller gelehrt, das Werkstück 6 in die richtige Position, die sogenannte Soll-Einbauposition, an der ersten Karosse, dem Kalibrierobjekt, zu bringen. Diese Position der Karosserie in der Soll-Montageposition oder ersten Phase wird hier K_0 als Karosserie-Referenzposition bezeichnet. Dem Roboter werden die benötigten Daten von der Robotersteuerung, Roboter-Controller, zur Verfügung gestellt.

[0028] Mit Hilfe eines Bildverarbeitungssystems, dem wenigstens zwei, vorzugsweise drei kalibrierte Sensoren, zum Beispiel kalibrierte optische Sensoren, wie Digitalkameras 3, 3', 3", sowie ein nicht gezeigter Rechner angehören, werden danach alle Abweichungen der aktuellen Position der aktuellen Karosse 1 mit diesem Referenzrahmen bzw. Kalibrierobjekt K_0 verglichen, wobei die aktuelle Position der aktuellen Karosse 1 mit K_i bezeichnet ist.

[0029] Der Roboter 7 nimmt dann das erste Werkstück, Kalibrierwerkstück, mit Hilfe des Greifers 7' auf. Der erste Schritt ist nun, den Roboter mit Hilfe seines Roboter-Controllers in eine Position zu kommandieren, in der das Bildverarbeitungssystem, nämlich die drei Kameras 3, 3', 3", gleichzeitig die Referenzpunkte bzw. Referenzbereiche 12, 13, 14 sowohl des Werkstücks als auch der Karosse sehen kann. Dieses Bild des Roboterarms 7' in dieser Position wird hier mit Vorhalteposition G_1 bezeichnet; die entsprechende Scheibenposition der Scheibe sei S_1 . Diese Position ist die Referenzposition, bzw. Soll-Vorhalteposition für die Scheibe.

[0030] In einem weiteren Schritt wird nun manuell die Scheibe in die richtige Position an der Karosserie gebracht; diese Einbauposition sei G_0 für den Roboterarm und S_0 für die entsprechende Position der Scheibe; dabei verfährt der Roboter einen Soll-Vektor.

[0031] Nunmehr wird in einem weiteren Schritt der Roboterarm 7' bzw. der Roboter 7 für jede der weiteren aufgenommenen Scheiben 6 in eine Position gebracht, die der von G_1 in etwa entspricht, da diese Position mit Fehlern behaftet sein kann. Das eigentliche Bild dieser Position wird deshalb etwas vom Referenzbild der Scheibe, S_1 , abweichen. Mit Hilfe des Bildverarbeitungssystems "VMT" werden diese Abweichungen vom Referenzbild zum aktuellen

Bild gemessen und in Koordinaten ausgegeben.

[0032] In einem weiteren Schritt werden nun die Transformationen von G_1 zu G_i der Steuerung des Roboterarms 7' zugeführt. G_i bezeichnet hier die Einbauposition in die aktuelle Karosse 1 für die aktuelle Scheibe 6.

[0033] Um diese Transformationen durchführen zu können, benötigt man zwei Abweichungen: die der aktuellen Position der Karosse und die der Scheibe wie diese mit dem Bildverarbeitungssystem "VMT" aufgenommen worden sind sowie die folgenden Grunddaten:

- Die Position und Orientierung der Karossen-Referenzposition K_0 relativ zum Weltkoordinatensystem
- Die Position und Orientierung der Referenzposition bzw. Soll-Vorhalteposition der Scheibe S_1 relativ zum Weltkoordinatensystem
- Die Position und Orientierung des Roboters relativ zum Weltkoordinatensystem.

[0034] Diese mit Grunddaten bezeichneten Transformationen werden vorteilhaft mit einem Meßsystem der Firma LEICA durchgeführt.

[0035] Des Weiteren wird benötigt:

- Die Position und Orientierung des RobotergrEIFERS G_0 relativ zum Roboter.
Diese letztgenannte Transformation - Position und Orientierung des RobotergrEIFERS G_0 relativ zum Roboter - wird vom Roboter-Controller erhalten.

[0036] Das Verfahren besteht aus zwei GrundschrITten oder Modi. Im ersten Modus, Kalibriermodus, werden die folgenden Schritte durchgeführt, wobei das Meßsystem der Firma LEICA nur für diesen Modus des Kalibrierens benötigt wird:

- Schritt 1: Vermessung des Roboters (Roboter-Basiskoordinatensystem) und des VMT-Systems (Koordinaten des Bezugssystems Bildverarbeitung) mittels LEICA
- Schritt 2: Bewegen einer Karosse in die Referenzposition und Vermessen mittels LEICA (Karossenkoordinatensystem)
- Schritt 3: Verfahren des Roboters mit der ersten durch den Greifer aufgenommenen Scheibe (Referenzscheibe) in die Referenzposition der Scheibe, Vermessen der Scheibenposition mittels LEICA und Ermitteln der RobotergrEIFERposition mittels des Roboter-Controllers
- Schritt 4: Null- bzw. Erst-Vermessung der Karosse und der Scheibe mittels des VMT Bildverarbeitungssystems (im VMT-System)
- Schritt 5: Verfahren des Roboters mit der ersten Scheibe (Referenzscheibe) in die Einbauposition der ersten Karosse und Ermitteln der RobotergrEIFERposition mittels des Roboter-Controllers (im Roboter-Basiskoordinatensystem)

Im zweiten Modus werden die folgenden Schritte automatisch durchlaufen:

[0037]

- Schritt 1: Anhalten der Karosse in der Montageposition
- Schritt 2: Aufnehmen der Scheibe mittels des RobotergrEIFERS und Verfahren des Roboters in die Greifer-Vorhalteposition G_1
- Schritt 3: Messung der Abweichung der Karosse und der Scheibe von den zugehörigen Referenzpositionen unter Benutzung des VMT Bildverarbeitungssystems
- Schritt 4: Berechnung der Transformation von G_1 - Greifer in Vorhalteposition - zu G_i - Greifer in Einbauposition an der aktuellen i-ten Karosse für die aktuelle i-te Scheibe - und Übermitteln des Ergebnisses an den Roboter bzw. den Roboter-Controller
- Schritt 5: durch den Roboter-Controller nunmehr Verfahren des Roboters entsprechend der so berechneten Transformation, so dass sich die aktuelle Scheibe S_{0i} , das ist die aktuelle i-te Scheibe, in Einbauposition an der aktuellen Karosse, das ist die i-te Karosse, befindet.

[0038] Im Nachfolgenden sei des Weiteren eine mathematische Herleitung des erfindungsgemäßen Verfahrens wiedergegeben:

Schritt 1: es ist die Position aufzufinden, in welche die Scheibe relativ zur kalibrierten Position S_0 der Scheibe, das ist die Soll-Vorhalteposition, zu verfahren ist:

$${}_{S_0}^{S_0}T = \left({}_{S_0}^{K_0}T \right)^{-1} \cdot {}_{K_i}^{K_0}T \cdot {}_{S_0}^{K_0}T$$

wobei ${}_{S_0}^{K_0}T = {}_{S_0}^{K_i}T$ gilt, weil die Scheibe für alle Karossen in der gleichen relativen Position gefügt werden muß.

Schritt 2: es ist die relative Position zwischen dem Roboter bzw. dem Greifer des Roboters und der Vorhalteposition für die erste Referenz-Scheibe aufzufinden:

$${}_{S_1}^{G_1}T = \left({}_{RB}^{W}T \cdot {}_{G_1}^{RB}T \right)^{-1} \cdot {}_{S_1}^{W}T$$

wobei ${}_{S_1}^{G_1}T = {}_{S_0}^{G_0}T$ gilt, weil die relative Position zwischen der Scheibe und dem Greifer des Roboters dieselbe bzw. identisch in der Vorhalteposition G_1 und der Einbauposition G_0 ist.

Schritt 3: es ist die relative Position zwischen der Vorhalteposition der Referenz-Scheiben S_1 und der Einbauposition S_0 der Referenzscheibe an der Referenzkarosse.

$${}_{S_0}^{S_1}T = \left({}_{S_1}^{G_1}T \right)^{-1} \cdot {}_{G_0}^{G_1}T \cdot {}_{S_1}^{G_1}T$$

Schritt 4: es ist die relative Position zwischen der Karosse K_0 und der Scheibe S_0 in ihrer richtigen Fügelage zu finden, die Referenzposition:

$${}_{S_0}^{K_0}T = \left({}_{K_0}^{W}T \right)^{-1} \cdot {}_{RB}^{W}T \cdot {}_{G_1}^{RB}T \cdot {}_{G_0}^{G_1}T \cdot {}_{S_1}^{G_1}T$$

Schritt 5: es ist die Transformation von Greifer in Vorhalteposition G_1 zu Greifer in Einbauposition G_0 aufzusuchen:

$${}_{G_1}^{G_1}T = {}_{S_1}^{G_1}T \cdot \left({}_{S_1}^{S_1}T \right)^{-1} \cdot {}_{S_0}^{S_1}T \cdot {}_{S_0}^{S_0}T \cdot \left({}_{S_1}^{G_1}T \right)^{-1}$$

wobei ${}_{S_1}^{G_1}T = {}_{S_0}^{G_0}T$ gilt, weil die relative Position zwischen der Scheibe und dem Greifer des Roboters in jeder Greiferposition für ein und dieselbe Scheibe identisch ist.. Die vorstehende letzte Gleichung kann dann wie folgt geschrieben werden:

$$\begin{aligned} {}_{G_1}^{G_1}T &= {}_{G_0}^{G_1}T \cdot \left({}_{RB}^{W}T \cdot {}_{G_1}^{RB}T \right)^{-1} \cdot {}_{S_1}^{W}T \cdot \left(\left({}_{K_0}^{W}T \right)^{-1} \cdot {}_{RB}^{W}T \cdot {}_{G_1}^{RB}T \cdot {}_{G_0}^{G_1}T \cdot \left({}_{RB}^{W}T \cdot {}_{G_1}^{RB}T \right)^{-1} \cdot {}_{S_1}^{W}T \right)^{-1} \cdot {}_{K_i}^{K_0}T^{(VMT)} \cdot \\ &\quad \cdot \left({}_{K_0}^{W}T \right)^{-1} \cdot {}_{RB}^{W}T \cdot {}_{G_1}^{RB}T \cdot {}_{G_0}^{G_1}T \cdot \left({}_{RB}^{W}T \cdot {}_{G_1}^{RB}T \right)^{-1} \cdot {}_{S_1}^{W}T \cdot \left(\left({}_{RB}^{W}T \cdot {}_{G_1}^{RB}T \right)^{-1} \cdot {}_{S_1}^{W}T \cdot {}_{S_1}^{S_1}T^{(VMT)} \right)^{-1} \end{aligned}$$

wobei ${}_{S_0}^{K_0}T = {}_{S_0}^{K_i}T$ gilt, weil die Scheibe in der gleichen relativen Position in die Karosse gefügt werden muß für alle Karossen.

[0039] Somit wird mit den gleichen Kameras 3, 3', 3", in einem oder mehreren Bildern die Position des Werkstücks, zum Beispiel eine Scheibe im Greifer eines Roboters, und die Position einer Karosse bestimmt, anschließend wird die Relativbewegung ausgerechnet und dem Roboter eine Fügeposition vorgegeben unter Berücksichtigung der Position der Scheibe im Greifer, Messung 1, und der Position der Karosse, Messung 2.

[0040] Anschließend wird der Roboter um den errechneten Ist-Vektor, welcher die tatsächliche Ist-Positionen von

Karosse und Scheibe berücksichtigt, um die drei Raumkoordinaten verfahren.

[0041] Der Unterschied zu den bisherigen Verfahren liegt darin, dass die Greifposition des Roboters mit gemessen wird und in die Auswertung eingeht. Das ist erheblich günstiger und der entscheidende Vorteil, weil nicht immer davon ausgegangen werden kann, dass weder die aktuelle Scheibe innerhalb kleiner Grenzen vom Roboter reproduzierbar aufgenommen wurde noch die aktuelle Karosse innerhalb kleiner Grenzen an den Montage- oder Fügeort verfahren worden ist.

[0042] Die Erfindung betrifft somit ein Verfahren zur Bestimmung der Lage eines Objektes 1 und Werkstücks 6 im Raum zur Montage des Werkstücks 6 am Objekt 1 mittels eines Roboters 7 mit Greifer 7' unter Verwendung eines Bildverarbeitungssystems mit Sensoren, insbesondere Kameras, wie CCD-Kameras 3,3',3" und Rechner. Roboter 7, Greifer 7' und Kameras 3,3',3" werden im Weltkoordinatensystem W vermessen und die Koordinaten im Bildverarbeitungssystem gespeichert. Die Lage eines ersten Objektes 1, Kalibrierobjekt, wird in einer Soll-Montageposition des Objektes 1 ebenfalls im Weltkoordinatensystem W vermessen und die Koordinaten im Bildverarbeitungssystem gespeichert. Ein erstes Werkstück 6, Kalibrierwerkstück, wird mittels des Greifers 7' in eine Vorhalteposition gefahren, die einen kleinen Abstand von der Soll-Montageposition zum Kalibrierobjekt besitzt und ebenfalls im Weltkoordinatensystem W vermessen und die Koordinaten gespeichert. Die Kameras 3,3',3" sind dergestalt im Weltkoordinatensystem W angeordnet und im Weltkoordinatensystem eingemessen, dass sie gleichzeitig sowohl die Soll-Montageposition des Kalibrierobjektes 1 als auch die Soll-Vorhalteposition des Kalibrierwerkstücks 6 erfassen, so dass das Bildverarbeitungssystem die Abweichung zwischen der Soll-Vorhalte- und der Soll-Montageposition berechnen kann. Nun wird ein Objekt 1 "ungenau" in eine Ist-Montageposition des Objektes 1 verbracht, die von der Soll-Montageposition des Kalibrierobjektes abweichen kann; der Greifer 7' entnimmt aus einem Lager 9 ein nachfolgendes Werkstück 6 "ungenau" auf und verfährt es in eine Ist-Vorhalteposition, welche von der Soll-Vorhalteposition des Kalibrierwerkstücks abweichen kann, wobei die Kameras 3,3',3" das Werkstück 6 in der Ist-Vorhalteposition und gleichzeitig das Objekt 1 in der Ist-Montageposition erfassen. Das Bildverarbeitungssystem bestimmt die angefahrenen Ist-Positionen des Werkstücks 6 sowie des Objektes 1 und errechnet die notwendige Relativbewegung zwischen Werkstück 6 und Objekt 1 sechs-dimensional und gibt dem Greifer 7' des Roboters 7 diese Koordinaten der Ist-Montageposition vor, um welche der Greifer 7' des Roboters 7 zur genauen Plazierung des Werkstücks 6 am Objekt 1 translatorisch und rotatorisch zu verfahren ist.

Gewerbliche Anwendbarkeit:

[0043] Der Gegenstand der Erfindung ist beispielsweise für einzufügende Werkstücke im Karosseriebau, im Türenverbau, im Schiebedachverbau, oder im Scheibenverbau u.s.w. gewerblich anwendbar. Denn das Werkstück, beispielsweise die Tür, befindet sich in der Roboterhand und muss in einen Türausschnitt, nämlich das Objekt, der Karosse montiert werden. Oder im Schiebedachverbau befindet sich das Schiebedach in der Roboterhand und muss in einen Dachausschnitt, Objekt, der Karosse montiert werden; oder im Scheibenverbau trägt die Roboterhand eine Fahrzeugscheibe, welche in einen Scheibenausschnitt einer Karosse exakt eingefügt werden muss.

Bezugszeichenliste:

[0044]

1	Karosse
2	Transportschiene
3, 3', 3"	Digitalkameras
4	Annäherungsbereich der Scheibe an die Karosse
5	Karossenaussparung
6	Scheibe
7	Roboter
7'	Roboterarm
8	Fahrschiene
9	Magazin
10	Greifscheibe
11	Saugnäpfe
12, 13, 14	Vorhaltebereiche
s	Versatz zwischen Scheibe 6 und Karossenaussparung 5 (nur zweidimensional dargestellt)

Patentansprüche

1. Verfahren zur Bestimmung der Lage eines Objektes (1) und eines Werkstücks (6) im Raum zur automatischen Montage bzw. Einfügen des Werkstücks (6) am Objekt (1) mittels eines Roboters (7) mit Greifer (7') und unter Verwendung eines digitalen Bildverarbeitungssystems mit wenigstens einem Sensor (3,3',3"), wie optischer Sensor (3,3',3"), insbesondere Kamera (3,3',3"), und einem Rechner, **gekennzeichnet durch** die folgenden Merkmale:

der Roboter (7) mit Greifer (7') und die Sensoren (3,3',3"), wie Kameras (3,3',3"), des Bildverarbeitungssystems werden in ihrer Lage im Weltkoordinatensystem (W) vermessen und diese Koordinaten dem Bildverarbeitungssystem eingegeben und gespeichert,
 die Lage eines ersten Objektes (1), Kalibrierobjekt, wird in einer Soll-Montageposition des Objektes (1) ebenfalls im Weltkoordinatensystem (W) vermessen und
 die Koordinaten der Soll-Montageposition ebenfalls im Bildverarbeitungssystem gespeichert,
 ein erstes Werkstück (6), Kalibrierwerkstück, wird mittels des Greifers (7') des Roboters (7) in eine Soll-Vorhalteposition gefahren, welche einen kleinen Abstand von der Soll-Montageposition zum Kalibrierobjekt besitzt und ebenfalls im Weltkoordinatensystem (W) vermessen und die Koordinaten der Soll-Vorhalteposition im Bildverarbeitungssystem gespeichert,
 die Sensoren (3,3',3"), wie Kameras (3,3',3") sind dergestalt im Weltkoordinatensystem (W) angeordnet und in dieser Position im Weltkoordinatensystem eingemessen, dass sie gleichzeitig sowohl die Soll-Montageposition des Kalibrierobjektes (1) als auch die Soll-Vorhalteposition des Kalibrierwerkstücks (6) erfassen, so dass das Bildverarbeitungssystem die Abweichung zwischen der Soll-Vorhalteposition und der Soll-Montageposition berechnen kann,
 anschließend wird ein nachfolgendes Objekt (1) "ungenau" in eine Ist-Montage- bzw. Fügeposition des Objektes (1) verbracht, welche von der Soll-Montageposition des Kalibrierobjektes abweichen kann,
 der Greifer (7') des Roboters (7) entnimmt aus einem Lager (9) ein nachfolgendes Werkstück (6) "ungenau" auf und verfährt es in eine Ist-Vorhalteposition, welche von der Soll-Vorhalteposition des Kalibrierwerkstücks abweichen kann, wobei die Kameras (3,3',3") das Werkstück (6) in der Ist-Vorhalteposition und gleichzeitig das Objekt (1) in der Ist-Montageposition erfassen,
 nunmehr bestimmt das Bildverarbeitungssystem - in einem oder mehreren Bildern der Sensoren (3,3',3"), wie Kameras (3,3',3") - die angefahrne Ist-Position des Werkstücks (6) sowie die angefahrne Ist-Position des Objektes (1), und errechnet die notwendige Relativbewegung zwischen Werkstück (6) und Objekt (1) sechsdimensional und gibt dem Greifer (7') des Roboters (7) diese Koordinaten der Ist-Montageposition vor, um welche der Greifer (7') des Roboters (7) zur genauen Platzierung des Werkstücks (6) am Objekt (1) translatorisch und rotatorisch zu verfahren ist.

2. Verfahren nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet,
dass der Roboter (7) das Werkstück (6) in der Ist-Vorhalteposition zur Durchführung des Vermessungsvorgangs kurz anhält.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2,
dadurch gekennzeichnet,
dass dasselbe mit einem einzigen Sensor (3,3',3"), wie Kamera (3,3',3"), durchgeführt wird, welcher hinsichtlich der Kalibrierung und anschließenden Verfahrbarkeit mehrfach positionierbar ist.
4. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Sensoren (3,3',3"), wie Kameras (3,3',3"), am Roboter selbst verteilt angeordnet sind.
5. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Sensoren (3,3',3"), wie Kameras (3,3',3"), am Roboter (7) selbst sowie ortsfest verteilt angeordnet sind.
6. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass an dem Objekt (1) und/oder an dem Werkstück (6) innerhalb der Ist-Montage oder Fügeposition bzw. der Ist-Vorhalteposition signifikante Merkmale, wie Konturen, Ecken, Aussparungen oder Bohrungen, angetastet werden.

7. Verfahren nach Anspruch 6,
dadurch gekennzeichnet,
dass die signifikanten Merkmale durch Beleuchtung kenntlich gemacht werden.
- 5 8. Verfahren nach Anspruch 7,
dadurch gekennzeichnet,
dass als Beleuchtung Infrarotlicht oder Laserlicht oder Streifenlicht zur Anwendung gelangt.
- 10 9. Verfahren nach Anspruch 8,
dadurch gekennzeichnet,
dass Laserlichtlinien verwendet werden.

15

20

25

30

35

40

45

50

55

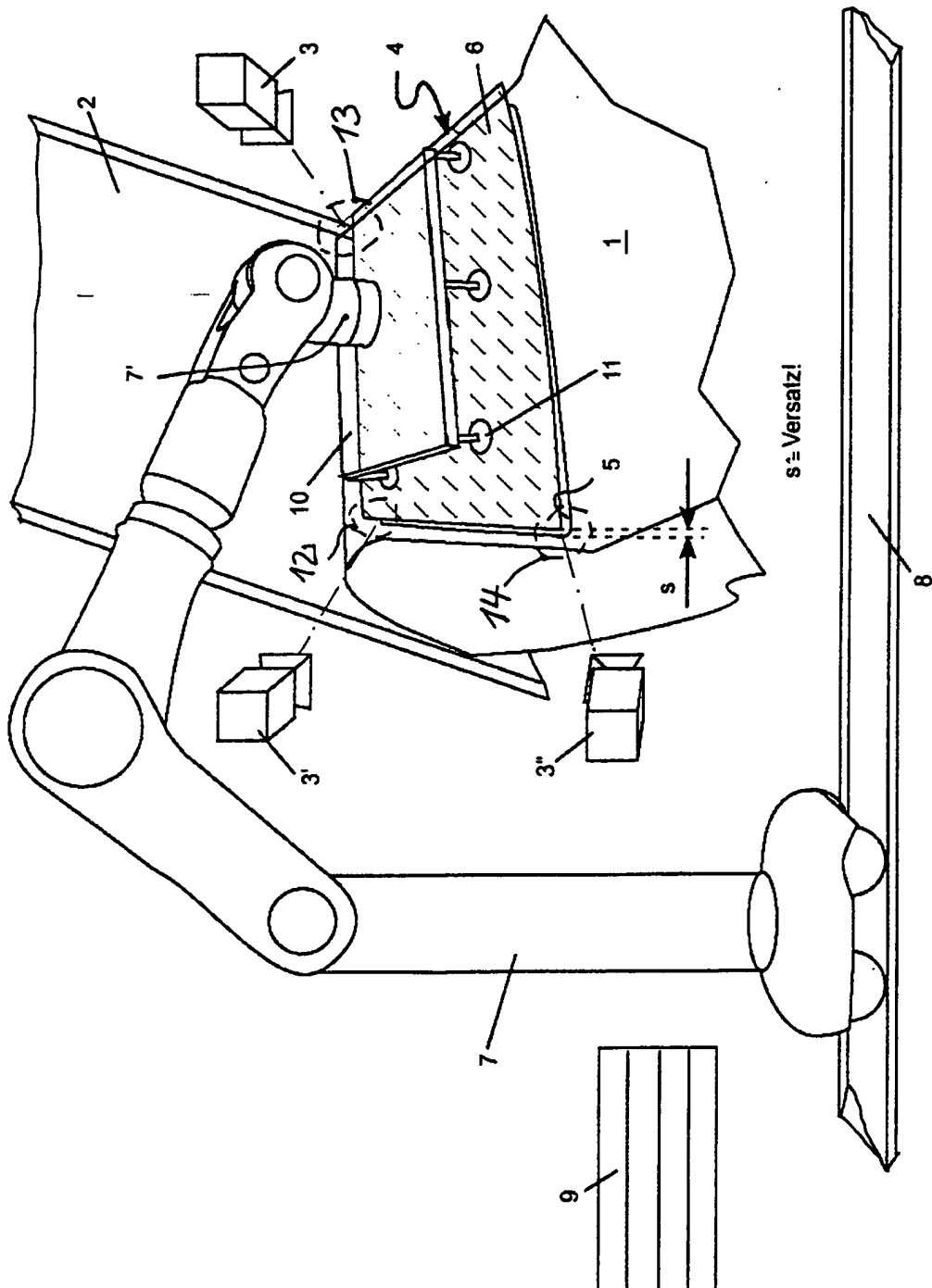


Fig. 1

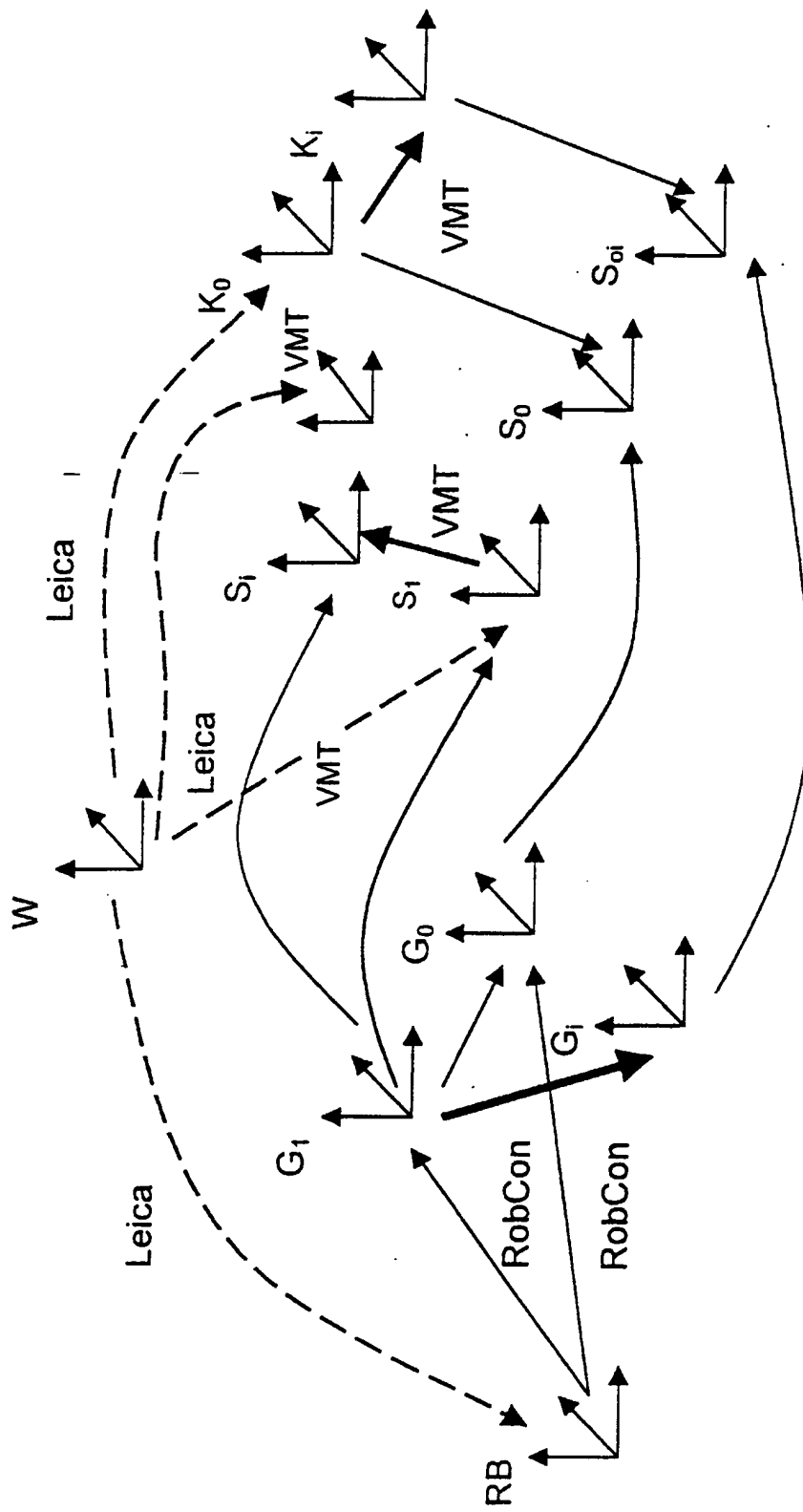


Fig. 2

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☒ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☒ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.